



**TUGAS AKHIR - TF 141851**

**PENGARUH PERUBAHAN PANJANG  
GELOMBANG CAHAYA TERHADAP SENSITIVITAS  
SENSOR *SPECIFIC GRAVITY* MINYAK BUMI  
BERBASIS SERAT OPTIK**

ELMIDIAN RIZKY  
NRP. 2410 100 019

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  
Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D.

JURUSAN TEKNIK FISIKA  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



FINAL PROJECT - TF 141851

***OPTICAL WAVELENGTH DEPENDENCE OF  
CRUDE OIL SPECIFIC GRAVITY OPTICAL FIBER  
SENSOR SENSITIVITY***

ELMIDIAN RIZKY  
NRP. 2410 100 019

Supervisor  
Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M. Sc.  
Agus Muhammad Hatta, ST, M. Sc. Ph. D.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS  
Faculty of Industrial Technology  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015

# LEMBAR PENGESAHAN

## PENGARUH PERUBAHAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR *SPECIFIC GRAVITY* MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK

### TUGAS AKHIR

Oleh:

**ELMIDIAN RIZKY**  
**NRP. 2410100019**

**Surabaya, 23 Januari 2015**  
**Mengetahui/Menyetujui**

**Pembimbing I,**

**Pembimbing II,**

**Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc**  
**NIP. 19500402 197901 1 001**

**Agus Muhammad Hatta, S.T, M.Si, Ph.D**  
**NIP. 19780902 200312 1 002**

**Ketua Jurusan**  
**Teknik Fisika, FTI – ITS**

**Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA**  
**NIP. 19650309 199002 1 001**





**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH PERUBAHAN PANJANG GELOMBANG**  
**CAHAYA TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR *SPECIFIC***  
***GRAVITY* MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK**






**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada  
Bidang Studi Rekayasa Fotonika  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**ELMIDIAN RIZKY**  
**NRP 2410100019**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- |                                     |  |                     |
|-------------------------------------|--|---------------------|
| 1. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc.  |  | (Pembimbing I)      |
| 2. Ir. Heru Setijono, M.Sc          |  | (Ketua Tim Penguji) |
| 3. Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc |  | (Penguji)           |
| 4. Dyah Sawitri, S.T, M.T           |  | (Penguji)           |
| 5. Detak Yan Pratama, S.T, M.Sc     |   | (Penguji)           |

**SURABAYA, JANUARI 2015**

# **PENGARUH PERUBAHAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR SPECIFIC GRAVITY MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK**

**Nama Mahasiswa** : Elmidian Rizky  
**NRP** : 2410 100 019  
**Jurusan** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc  
Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si,  
Ph.D

## **ABSTRAK**

*Minyak bumi merupakan salah satu bahan bakar fosil selain batubara dan gas alam. Salah satu parameter fisis penting dari minyak bumi adalah specific gravity. Berdasarkan standar evaluasi mutu minyak bumi yang dikeluarkan oleh Kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) pada tahun 2013, pengukuran specific gravity minyak bumi di Indonesia menggunakan standar ASTM (American Standard for Testing and Materials) D - 1928. Metode yang digunakan oleh standar tersebut adalah metode pengukuran specific gravity dengan menggunakan hidrometer. Light Emitting Diode (LED) dan serat optik plastik yang telah dikupas claddingnya dikembangkan untuk menjadi sensor sebagai metode alternatif untuk mengukur specific gravity dari minyak bumi. Indeks bias minyak bumi merupakan fungsi dari panjang gelombang, sehingga panjang gelombang yang digunakan pada sensor serat optik akan berpengaruh pada pengukuran SG minyak bumi dengan metode tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang gelombang cahaya terhadap sensitivitas sensor specific gravity berbasis serat optik dan diperoleh panjang gelombang cahaya yang paling tepat untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor specific gravity serat optik berbasis serat optik. Pada penelitian ini digunakan lampu halogen yang dipadukan dengan monokromator sebagai sumber cahaya, serat optik plastik, dan optikal power meter sebagai set-up penelitian. Teknik rasiometrik diaplikasikan pada set-up penelitian untuk mengurangi pengaruh fluktuasi sumber cahaya pada*

*eksperimen. Berdasarkan hasil penelitian, didapatkan bahwa perubahan panjang gelombang cahaya pada sensor serat optik mempengaruhi nilai sensitivitas dari sensor dengan kecenderungan sensitivitas menurun seiring dengan penambahan panjang gelombang cahaya. Panjang gelombang cahaya yang paling tepat untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor specific gravity minyak bumi berbasis serat optik adalah 430 nm yang menghasilkan sensitivitas -47,05 dB.*

**Kata kunci:** *panjang gelombang cahaya, sensor specific gravity berbasis serat optik, spesific gravity minyak bumi*

## ***OPTICAL WAVELENGTH DEPENDENCE OF CRUDE OIL SPECIFIC GRAVITY OPTICAL FIBER SENSOR SENSITIVITY***

**Name** : Elmidian Rizky  
**NRP** : 2410 100 019  
**Department** : Teknik Fisika FTI-ITS  
**Supervisors** : Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc  
Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D

### ***ABSTRACT***

*Crude oil is one of fossil fuels other than coal and natural gas. One of the important physical parameters of petroleum is specific gravity. Based on evaluation of crude oil quality standards that released by the Ministry of Energy and Mineral Resources (Energy and Mineral Resources) in 2013, measuring specific gravity of crude oil in Indonesia use standard of ASTM (American Standard for Testing and Materials) D - 1928. The method that used by the standard is measuring method of specific gravity using hydrometer. A Light Emitting Diode (LED) and an optical fiber that its cladding has been peeled has grown become a sensor as an alternative method to measure the specific gravity of crude oil. The refraction index of crude oil is the function of wavelength. The used wavelength in optical fiber will be affected. This research purpose is determine the effect of optical wavelength changes on performance of specific gravity sensor based optical fiber and the obtain the optical wavelength that is most appropriate for use as source light in specific gravity sensor optical fiber based optical fiber. This research use halogen lamp as light source that combined with monochromator, plastic optical fiber and optical power meter as set-up research. Ratiometric technique was applied in the set-up research to reduce the effect of fluctuations from light source in this experiment. Based on this experimental, obtain that optical wavelength change in an optical fiber sensor affects the sensitivity of the sensor with sensitivity tendency decrease with the increase of optical wavelength. The best optical wavelength for the light source of the sensor is 430 nm with sensitivity of -47,05 dB.*

**Keywords:** *crude oil specific gravity, optical wavelength, specific gravity fiber optic based sensor*



## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat, kesehatan, ilmu, dan karunianya kepada penulis hingga mampu menyelesaikan dalam menyusun laporan tugas akhir ini. Tak lupa juga shalawat serta salam atas junjungan nabi besar Rasulullah Muhammad SAW.

Laporan ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Berbekal kegigihan, doa, dan usaha, maka penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan judul:

### **“PENGARUH PERUBAHAN PANJANG GELOMBANG CAHAYA TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR *SPECIFIC GRAVITY* MINYAK BUMI BERBASIS SERAT OPTIK”**

Begitu banyak pihak yang terlibat dan membantu penulis dalam menjalankan tugas akhir ini, maka untuk kesempatan kali ini izinkan penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku ketua Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS
2. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo, M.Sc dan Agus M. Hatta, ST, M.Si, Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah membimbing dan memberikan banyak bantuan serta semangat untuk penulis
3. Gerry Sasanti Nirmala, ST, MT, selaku dosen STEM Akamigas Cepu yang telah memberikan fasilitas dalam pengerjaan tugas akhir saya.
4. Ir. Heru Setijono, M.Sc, Ir. Apriani Kusumawardhani, M.Sc, Dr.rer.nat. Aulia M.T Nasution, ST, M.Si, selaku dosen Rekayasa Fotonika, yang telah memberikan kritik dan saran membangun kepada penulis serta memberikan fasilitas peralatan pada tugas akhir saya

5. Ir. Tutug Dhanardono, MT, selaku sekretaris program studi S1 Jurusan Teknik Fisika, FTI – ITS yang telah menyusun kegiatan tugas akhir S1 periode gasal 2014-2015.
6. Dr. Dhany Arifianto, ST, M.Eng, selaku dosen wali dari penulis yang telah banyak memberi bantuan dan semangat
7. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmunya sehingga penulis dapat menyelesaikan kuliah hingga tugas akhir ini
8. Ayah dan ibu tercinta, Bapak Elham Sidik dan Ibu Nurhayati orang tua terbaik sepanjang masa dan tidak akan pernah terganti. Terima kasih banyak atas doa, semangat, dan perhatian selama ini
9. Kakak kandung yang saya sayangi, Eri Ersandy, yang terus menyemangati saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
10. Ahdan Fauzi Sanusi dan Wisnu Rozaaq, teman seperjuangan tugas akhir yang telah banyak membantu selama pengerjaan tugas akhir ini.
11. Yoga Permana dan Muhammad Iqbal yang tetap menyemangati saya dalam pengerjaan tugas akhir ini.
12. Reza Arrafi, Ika Puspita, dan Herni Ariesta yang membantu dalam banyak hal dalam proses pengerjaan tugas akhir saya.
13. Teman-teman asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika dan teman-teman angkatan 2010 Teknik Fisika ITS yang selalu mendukung saya.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima dengan lapang dada. Semoga laporan ini dapat berguna bagi penulis dan pihak yang membacanya, aamiin.

Surabaya, Januari 2015  
Penulis

## DAFTAR ISI

|  |             |
|--|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL</b>   |             |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN</b>                                     |             |
| <b>ABSTRAK</b>   | <b>v</b>    |
| <b><i>ABSTRACT</i></b>                                       | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR</b>  | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>  | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>   | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR TABEL</b>  | <b>xv</b>   |
| <br>   |             |
| <b>BAB I – PENDAHULUAN</b>                                   | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang   | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah  | 4           |
| 1.3 Batasan Masalah  | 5           |
| 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian                            | 5           |
| <br>   |             |
| <b>BAB II – TINJAUAN PUSTAKA</b>                             | <b>7</b>    |
| 2.1 Total Internal Reflection                                | 7           |
| 2.2 Serat Optik  | 9           |
| 2.3 Numerical Apperture Mismatch Loss                        | 12          |
| 2.4 Specific Gravity Minyak Bumi                             | 12          |
| 2.5 Hubungan Specific Gravity dan Indeks Bias Minyak Bumi    | 14          |
| <br>   |             |
| <b>BAB III – METODOLOGI PENELITIAN</b>                       | <b>18</b>   |
| 3.1 Pengukuran SG Minyak Bumi Menggunakan Timbangan Analitik | 18          |
| 3.2 Perancangan Set-Up Alat Penelitian                       | 20          |
| 3.3 Pembuatan Sensor SG Menggunakan Serat Optik              | 22          |
| 3.4 Proses Pengambilan dan Pengolahan Data                   | 24          |
| <br>   |             |
| <b>BAB IV – HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                         | <b>29</b>   |

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>BAB V – PENUTUP</b> | <b>41</b> |
| 4.1 Kesimpulan         | 41        |
| 4.2 Saran              | 41        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>  | <b>43</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>        |           |
| <b>BIODATA PENULIS</b> |           |

## DAFTAR TABEL

|                  |   |    |
|------------------|---|----|
| <b>Tabel 2.1</b> | Klasifikasi minyak bumi   | 13 |
| <b>Tabel 3.1</b> | Hasil pengukuran SG sampel minyak bumi menggunakan timbangan analitik   | 20 |
| <b>Tabel 3.2</b> | Pengukuran daya dengan menggunakan fotodioda A dan B pada output serat optik referensi                          | 24 |
| <b>Tabel 3.3</b> | Pengukuran daya dengan menggunakan fotodioda A dan B pada output serat optik sensor                             | 24 |
| <b>Tabel 4.1</b> | Rasio daya untuk setiap sampel minyak bumi Terhadap panjang gelombang cahaya                                    | 31 |
| <b>Tabel 4.2</b> | Rata – rata daya output (referensi & sensor) untuk setiap sampel minyak bumi per panjang gelombang              | 32 |
| <b>Tabel 4.2</b> | Rentang rasio daya untuk setiap panjang gelombang cahaya  | 33 |
| <b>Tabel 4.3</b> | Sensitivitas sensor SG serat optik untuk setiap panjang gelombang cahaya  | 34 |
| <b>Tabel 4.4</b> | Nilai $R^2$ terhadap panjang gelombang  | 35 |
| <b>Tabel 4.5</b> | Perhitungan Numerical Apperture dan NA Mismatch Loss dari sensor SG serat optik untuk setiap sampel minyak bumi | 36 |

***Halaman ini sengaja dikosongkan***



## DAFTAR GAMBAR

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Gambar 1.1</b> | Pengukuran SG menggunakan hidrometer   | 2  |
| <b>Gambar 1.2</b> | Set-up peralatan penelitian  | 3  |
| <b>Gambar 1.3</b> | Grafik minyak bumi dan produk olahan minyak lainnya terhadap panjang gelombang cahaya          | 4  |
| <b>Gambar 2.1</b> | Pembiasan cahaya dari medium 1 dengan indeks bias $n_1$ menuju medium 2 dengan indeks bias $n$ | 7  |
| <b>Gambar 2.2</b> | Hubungan antara sudut datang cahaya terhadap arah pembiasan cahaya                             | 8  |
| <b>Gambar 2.3</b> | Skema pemanduan cahaya pada serat optik  | 10 |
| <b>Gambar 2.4</b> | Ilustrasi Numerical Aperture dari serat optik  | 10 |
| <b>Gambar 2.5</b> | Perbandingan dua nilai Numerical Aperture pada serat optik                                     | 11 |
| <b>Gambar 2.6</b> | Ilustrasi NA mismatch  | 12 |
| <b>Gambar 2.7</b> | Grafik konsistensi nilai indeks bias terhadap perubahan API                                    | 14 |
| <b>Gambar 3.1</b> | Diagram alir penelitian  | 17 |
| <b>Gambar 3.2</b> | Pengukuran sampel minyak bumi menggunakan timbangan analitik                                   | 19 |
| <b>Gambar 3.3</b> | Skema set-up alat penelitian   | 21 |
| <b>Gambar 3.4</b> | Serat optik yang telah dikupas <i>cladding</i> -nya  | 23 |
| <b>Gambar 3.5</b> | Tampilan <i>software</i> Thorlabs <i>multi power meter</i>                                     | 25 |
| <b>Gambar 3.6</b> | Prosedur pengambilan data percobaan untuk setiap satu sampel minyak bumi                       | 26 |
| <b>Gambar 4.1</b> | Grafik perbandingan rasio daya terhadap panjang gelombang cahaya                               | 30 |
| <b>Gambar 4.2</b> | Grafik perbandingan rasio daya terhadap specific gravity                                       | 37 |
| <b>Gambar 4.3</b> | Hubungan antara NA mismatch loss terhadap SG minyak bumi                                       | 38 |

***Halaman ini sengaja dikosongkan***

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang dari tugas akhir yang diambil, permasalahan yang akan diselesaikan, batasan masalah dalam pelaksanaan, serta tujuan dan manfaat dari penelitian tugas akhir. Sumber penulisan dari bab ini berasal dari jurnal ilmiah, situs internet terpercaya, dan buku manual.

### **1.1 Latar Belakang**

Minyak bumi merupakan salah satu bahan bakar fosil selain batubara dan gas alam. Minyak bumi terdiri dari 83-87% karbon, 11-16% hidrogen, 0-4% oksigen dengan nitrogen, dan 0-4% belerang (Radovic, 1998). Atom – atom karbon dari minyak bumi saling berikatan membentuk sebuah rantai karbon. Rantai karbon ini dikelilingi oleh atom - atom hydrogen yang selanjutnya disebut senyawa hidrokarbon. Semakin panjang rantai karbon maka akan semakin berat senyawa tersebut dan karbon membutuhkan biaya yang lebih banyak dalam proses pengolahannya.

*Specific gravity* (SG) adalah perbandingan massa jenis suatu material terhadap massa jenis air. SG digunakan dalam dunia industri untuk mendapatkan informasi dari suatu larutan atau campuran. Misalnya seperti pada industry eksplorasi dan produksi minyak bumi, SG minyak bumi dapat menunjukkan kandungan dari minyak tersebut. Semakin besar SG minyak bumi, maka minyak bumi tersebut mengandung lebih banyak karbon rantai panjang (panjang rantai karbon,  $C > 70$ ). Sedangkan minyak bumi dengan SG yang lebih rendah menunjukkan minyak bumi tersebut mengandung lebih sedikit rantai karbon panjang. (Freudenrich, 2001).

Selain itu, SG juga berperan dalam proses transport minyak bumi. Hingga hari ini, sebagian besar proses transport minyak bumi dari sumur ke tempat pengolahannya menggunakan pipa sebagai media transport-nya. Nilai SG minyak bumi menentukan dalam proses transport ini, karena semakin besar nilai SG

semakin kental minyak bumi atau dengan kata lain semakin keras pompa bekerja untuk memompa minyak bumi yang ada didalam pipa *transport*.

Nilai SG juga diperlukan sebagai salah satu nilai input dalam melakukan simulasi reservoir (sumber minyak bumi) dan pengeboran (Vargaz, 2011). Semakin besar SG minyak bumi pada reservoir maka akan semakin membutuhkan usaha yang lebih dalam mengeluarkan minyak bumi dari reservoir tersebut. Untuk itu, maka SG merupakan salah satu parameter fisis penting dari minyak bumi.

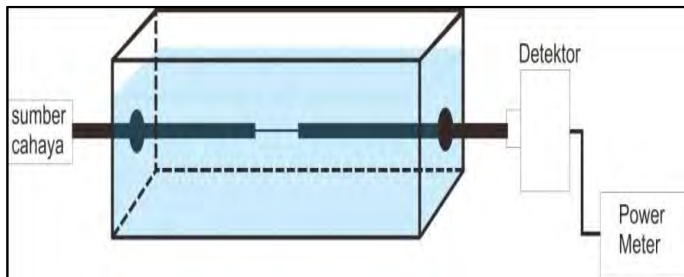


**Gambar 1.1.** Pengukuran SG menggunakan hidrometer.  
(Daniel, 2013)

Berdasarkan standar evaluasi mutu minyak bumi yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2013, pengukuran SG minyak bumi di Indonesia menggunakan standar ASTM (American Standard for Testing and Materials) D - 1928. Metode yang digunakan oleh standar tersebut adalah metode pengukuran SG dengan menggunakan hidrometer. Hidrometer merupakan salah satu alat ukur SG yang memanfaatkan hukum Archimedes mengenai gaya apung. Kekurangan dalam metode ini adalah memerlukan pengkondisian lingkungan yang khusus sebelum pengukuran

dilakukan. Selain itu, pembacaan nilai SG dilakukan secara manual sehingga memerlukan ketelitian dari pengguna dalam membaca skala pada hidrometer. Dengan kata lain, pengukuran dengan metode ini kurang efektif dikarenakan memerlukan waktu yang relatif lama.

Serat optik telah diaplikasikan secara luas pada bidang telekomunikasi. Namun, belakangan ini serat optik telah dikembangkan sebagai sebuah sensor. Sensor serat optik memiliki kelebihan yaitu tidak menghantarkan listrik sehingga lebih aman terutama pada objek yang mudah terbakar seperti pada minyak bumi.

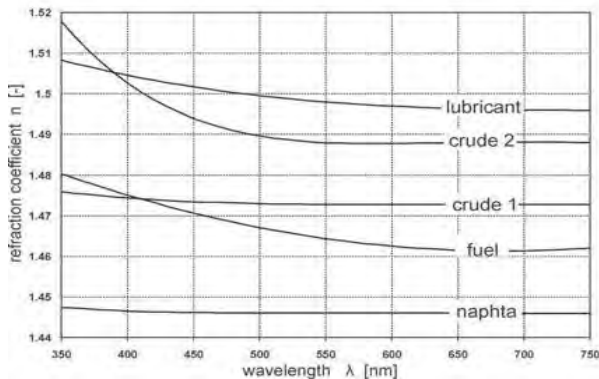


**Gambar 1.2.** Set-up peralatan penelitian A.W.Rizky -2013

A.W. Rizky – 2013 telah mendemonstrasikan sensor SG menggunakan serat optik plastik. Pada penelitian tersebut digunakan serat optik plastik yang telah dikupas *cladding*-nya sebagai sensor dan *Light Emitting Diode* (LED) sebagai sumber cahayanya. LED yang digunakan adalah LED berwarna biru dengan puncak spectral pada panjang gelombang cahaya 470 nm dengan lebar spectral 21,21 nm. Pada **Gambar 1.2** dijelaskan bahwa minyak bumi menggantikan posisi *cladding* yang telah dikupas pada serat optik. Sehingga, indeks bias minyak bumi menjadi indeks bias *cladding* pada sensor serat optik tersebut.

Pada **Gambar 1.3** menunjukkan grafik hubungan antara indeks bias minyak bumi dan produk olahannya terhadap panjang gelombang cahaya. Berdasarkan grafik tersebut, indeks bias dari minyak bumi dan produk olahannya cenderung menurun seiring

dengan bertambahnya panjang gelombang cahaya. Dengan kata lain, indeks bias dari minyak bumi merupakan fungsi dari panjang gelombang cahaya.



**Gambar 1.3.** Grafik minyak bumi dan produk olahan minyak lainnya terhadap panjang gelombang cahaya (Otremba, 2011)

Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan panjang gelombang cahaya terhadap kinerja sensor *specific gravity* berbasis serat optik dan didapatkannya daerah panjang gelombang cahaya yang paling tepat untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Permasalahan yang akan dibahas pada penelitian tugas akhir ini antara lain :

- Bagaimana pengaruh perubahan panjang gelombang cahaya terhadap karakteristik sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi?
- Berapa panjang gelombang cahaya yang paling tepat untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi.



### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pelaksanaan penelitian Tugas Akhir ini antara lain:

- Panjang sensor berdasarkan hasil penelitian A. W. Rizky yaitu 2 cm.
- Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu halogen.
- Pengukuran dilakukan pada range panjang gelombang cahaya 430-700 nm. Dengan increment 30 nm.
- Sampel minyak bumi yang digunakan berjumlah 5 buah.
- Suhu ruangan diasumsikan konstan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian tugas akhir ini antara lain :

- Diketuainya pengaruh perubahan panjang gelombang cahaya terhadap kinerja sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi.
- Didapatkan panjang gelombang cahaya yang tepat untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

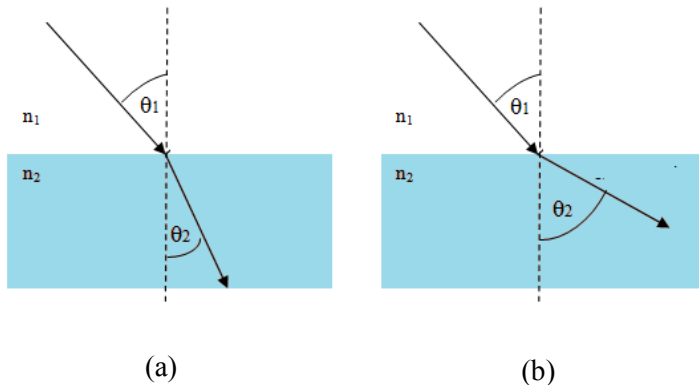
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori – teori dasar yang menjadi landasan dalam penyelesaian permasalahan untuk mencapai tujuan penelitian Tugas Akhir. Sumber dasar teori ini berasal dari *text book*, jurnal ilmiah, *data sheet*, dan *manual book*.

#### 2.1 Total Internal Reflection (TIR)

Sebelum membahas mengenai TIR, maka terlebih dahulu akan dibahas mengenai indeks bias cahaya dan hukum snellius. Pembiasan adalah suatu peristiwa perubahan arah perambatan gelombang ketika berpindah dari suatu medium ke medium lainnya. Perubahan ini disebabkan karena perbedaan cepat rambat cahaya di kedua medium tersebut.



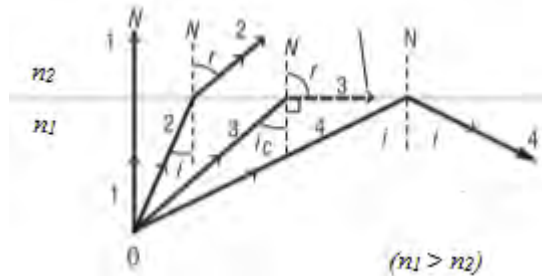
**Gambar 2.1.** Pembiasan cahaya dari medium 1 dengan indeks bias  $n_1$  menuju medium 2 dengan indeks bias  $n_2$ . a) ketika  $n_1 < n_2$ ; b) ketika  $n_1 > n_2$ .

Besaran untuk menyatakan peristiwa pembiasan ini disebut indeks bias. Indeks bias merupakan perbandingan cepat rambat cahaya dalam vakum dibandingkan dengan cepat rambat cahaya

dalam sebuah medium (Smith, 2000). Perhitungan dari indeks bias ditunjukkan oleh persamaan (2.1).

$$n = \frac{c}{v} \quad (2.1)$$

Dimana  $n$  adalah indeks bias medium cahaya yang merupakan besaran tanpa satuan. Dengan  $c$  adalah kecepatan cahaya pada ruang hampa yaitu  $3 \times 10^8$  m/s dan  $v$  adalah kecepatan rambat cahaya pada medium dalam m/s. Peristiwa pembiasan cahaya digambarkan oleh **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.2.** Hubungan antara sudut datang cahaya terhadap arah pembiasan cahaya. (Keiser, 2010)

Garis putus-putus pada **Gambar 2.1** merupakan garis semu yang tegak lurus pada bidang batas dua medium. Garis ini dinamakan garis normal. **Gambar 2.1(a)** menggambarkan peristiwa pembiasan cahaya pada saat  $n_1$  kecil dari  $n_2$ . Dalam kondisi ini, cahaya dibiaskan mendekati garis normal. Pada gambar 2.1(b)  $n_1$  lebih besar dari  $n_2$ , sehingga cahaya dibiaskan menjauhi garis normal. Selanjutnya  $\theta_1$  disebut sebagai sudut datang dan  $\theta_2$  disebut sebagai sudut bias. Hubungan antara sudut datang dan sudut bias dirumuskan dengan persamaan *Snellius*.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (2.2)$$

Dimana  $\theta_1$  sudut datang dalam satuan derajat dan  $\theta_2$  adalah sudut bias dalam satuan derajat.  $n_1$  merupakan indeks bias

medium cahaya datang (medium 1) dan  $n_2$  merupakan indeks bias medium cahaya dibiaskan (medium 2). Persamaan ini dapat digunakan untuk mengetahui sudut bias dari suatu peristiwa pembiasan.

**Gambar 2.2** menunjukkan hubungan antara sudut datang terhadap arah bias sinar pada dua medium dengan nilai indeks bias yang berbeda. Nilai indeks bias bidang cahaya datang ( $n_1$ ) lebih besar daripada bidang yang dituju oleh sinar ( $n_2$ ). Sinar 1 tidak memiliki sudut datang terhadap bidang normal. Sehingga cahaya diteruskan langsung tanpa mengalami pembiasan.

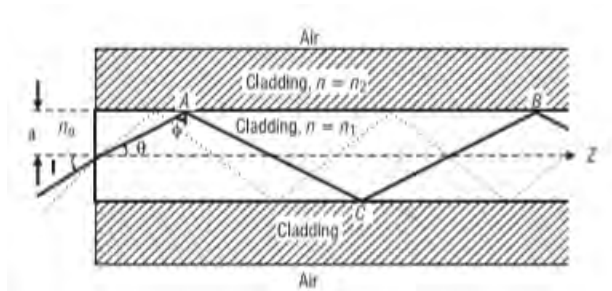
Sinar 2,3, dan 4 memiliki sudut datang cahaya  $\theta_{i2} < \theta_{i3} < \theta_{i4}$  terhadap bidang normal. Sinar 2 mengalami pembiasan, dan sinar 3 mengalami pembiasan dengan arah tegak lurus bidang normal. Sudut yang dibentuk oleh sinar 3 disebut sudut kritis, yaitu dimana sudut datang yang sinarnya dibiaskan tegak lurus terhadap bidang normal.

$$\theta_c = \sin^{-1} \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.3)$$

Sinar 4 mengalami pemantulan. Peristiwa yang dialami oleh sinar 4 ini disebut sebagai Total internal reflection (TIR). Seperti pada sinar 4, TIR terjadi jika sudut datang lebih besar dari sudut kritis. Jadi, total internal reflection merupakan peristiwa pemantulan sempurna pada saat cahaya merambat kesuatu medium dengan indeks bias yang lebih rendah.

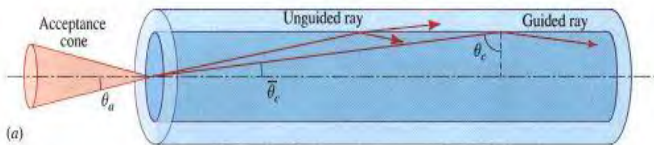
## 2.2 Serat Optik

Serat optik merupakan pemandu gelombang dielektrik berbentuk silinder yang terbuat dari bahan low-loss seperti kaca silica (Saleh & Teich, 2008). Bahan low-loss adalah bahan yang memiliki tingkat absorpsi cahaya yang rendah. Sehingga pada saat cahaya ditransmisikan, cahaya tersebut dapat sampai ke penerima tanpa harus kehilangan daya yang besar akibat absorpsi dari serat optik itu sendiri.



**Gambar 2.3.** Skema pemanduan cahaya pada serat optik.  
(Saleh, 2007)

Serat optik terdiri 2 bagian yaitu core dan cladding. Indeks bias core lebih besar daripada indeks bias cladding. Seperti yang telah dijelaskan pada **Gambar 2.2**, salah satu syarat terjadinya sebuah Total Internal Reflection adalah indeks bias medium cahaya datang harus lebih besar daripada indeks bias medium cahaya dibiaskan. Sehingga, indeks bias core selalu lebih besar daripada indeks bias cladding. Perambatan cahaya dalam serat optik dapat digambarkan dalam oleh **Gambar 2.3**.



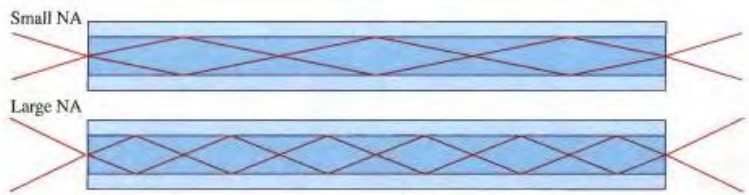
**Gambar 2.4** Ilustrasi Numerical Aperture dari serat optik.  
(Saleh, 2007)

Numerical aperture merupakan angka yang merepresentasikan sudut penerimaan maksimal pada serat optik yang memungkinkan untuk terjadinya pemanduan cahaya. Sudut penerimaan maksimal dari serat optik memiliki makna yang sama dengan sudut kritis pada peristiwa total internal reflection. Cahaya yang akan masuk ke serat optik akan terpandu jika sudut datang cahaya lebih besar dari sudut penerimaan maksimalnya. Jika cahaya yang



datang memiliki sudut datang yang lebih kecil, maka cahaya tersebut tidak akan terpandu atau keluar dari serat optik.

Jika kita lihat pada **Gambar 2.4**, terdapat sebuah *acceptance cone*. Acceptance cone merupakan sebuah kerucut yang menggambarkan ruang yang memungkinkan cahaya untuk terpandu dalam serat optik. Karena, serat optik berbentuk silinder maka kemungkinan sudut penerimaannya dinyatakan dalam bentuk ruang.



**Gambar 2.5** Perbandingan dua nilai Numerical Apperture pada serat optik. (Saleh, 2007)

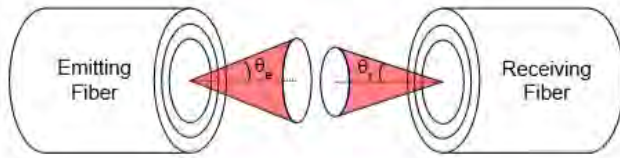
**Gambar 2.5** menunjukkan perbandingan numerical aperture yang berbeda pada serat optik. Semakin besar NA, maka akan semakin besar sudut penerimaan maksimal dari fiber optik. Selain itu, besar sudut keluar cahaya dari serat optik sama dengan sudut penerimaan maksimalnya.

$$NA = n \sin \theta_{max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} \quad (2.4)$$

Persamaan 2.4 merupakan perhitungan Numerical Apperture (NA) dari serat optik. NA dapat dihitung dengan mengalikan indeks bias medium pada saat cahaya belum masuk ke serat optik,  $n$ , dengan sinus dari sudut penerimaan maksimal serat optik,  $\theta_{max}$ . Selain itu perhitungan NA juga dapat dilakukan dengan mengakarkan hasil pengurangan dari indek bias core ( $n_1$ ) kuadrat dengan indeks bias cladding ( $n_2$ ) kuadrat. NA merupakan besaran yang tidak memiliki satuan.

### 2.3 Numerical Aperture Mismatch Loss

Numerical Aperture (NA) Mismatch adalah suatu peristiwa dimana kedua fiber optik yang memiliki beda Numerical Aperture digabung menjadi satu dengan menggunakan *splicer*. *Splicer* adalah alat yang digunakan untuk menggabungkan dua serat optik menjadi satu. Ilustrasi NA mismatch loss ditunjukkan oleh **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.6** Ilustrasi NA mismatch (Blair, 2008)

Syarat terjadinya loss adalah ketika NA dari receiving fiber lebih kecil dari emitting fiber. Hal ini dikarenakan Semakin besar perbedaan NA dari kedua serat optik, maka akan semakin besar loss pada sambungan. Perhitungan dari NA mismatch loss ditunjukkan oleh persamaan (3).

$$NA \text{ Mismatch Loss} = -10 \log \left[ \left( \frac{NA_{\text{receiving fiber}}}{NA_{\text{Emitting Fiber}}} \right)^2 \right] \quad (2.5)$$

Satuan dari NA mismatch loss adalah decibel (dB). Hal ini dikarenakan perhitungannya menggunakan operasi logaritmik. Karena nilai NA receiving fiber lebih kecil dari NA emitting. Sehingga, hasil dari perhitungan berupa bilangan negatif. Untuk itu, nilai minus pada persamaan (2.5) digunakan agar hasil dari perhitungan berupa bilangan positif.

### 2.4 Specific gravity Minyak Bumi

Minyak bumi (petroleum dalam bahasa yunani) berasal dari kata *petra* yang berarti batu dan *oleum* yang berarti minyak.

Minyak bumi terdiri dari 83-87% karbon, 11-16% hidrogen, 0-4% oksigen dengan nitrogen, dan 0-4% belerang (Radovic, 1998). Atom – atom karbon dari minyak bumi saling berikatan membentuk sebuah rantai karbon. Rantai karbon ini dikelilingi oleh atom - atom hydrogen yang selanjutnya disebut senyawa hidrokarbon.

SG digunakan dalam dunia industri untuk mendapatkan informasi dari suatu larutan atau campuran. Misalnya seperti pada industri eksplorasi dan produksi minyak bumi, SG minyak bumi dapat menunjukkan kandungan dari minyak tersebut. Semakin besar SG minyak bumi, maka minyak bumi tersebut mengandung lebih banyak karbon rantai panjang (panjang rantai karbon,  $C > 70$ ). Sedangkan minyak bumi dengan SG yang lebih rendah menunjukkan minyak bumi tersebut mengandung lebih sedikit rantai karbon panjang.

$$SG = \frac{\rho_{\text{material}}}{\rho_{\text{air}}} \quad (2.6)$$

Di dunia industri, SG lebih sering dinyatakan dalam besaran gravitas API (American Petroleum Institute). Hubungan antara keduanya adalah sebagai berikut.

$$^{\circ}\text{API} = \left( \frac{141}{SG} \right) - 131.5 \quad (2.7)$$

$^{\circ}\text{API}$  adalah besaran yang tidak memiliki satuan. Sama halnya dengan SG yang tidak memiliki satuan. Dikarenakan berbanding terbalik dengan SG, maka semakin besar nilai  $^{\circ}\text{API}$  semakin ringan minyak tersebut.

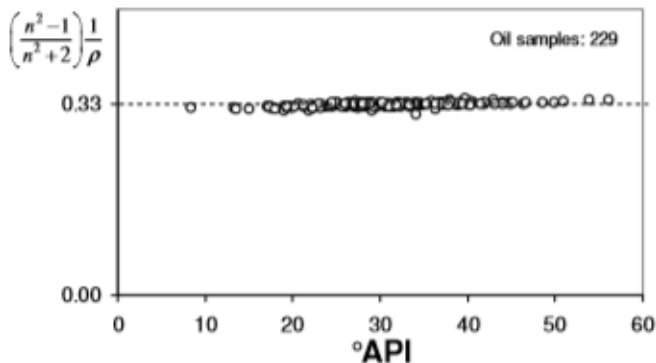
**Tabel 2.1.** Klasifikasi minyak bumi (Khalaf, 2008)

| Kategori minyak bumi | API Gravity             |
|----------------------|-------------------------|
| Light crudes         | $>38$                   |
| Medium crudes        | $38 > \text{API} > 29$  |
| Heavy crudes         | $29 > \text{API} > 8.5$ |
| Very heavy crudes    | $\text{API} < 8.5$      |

## 2.5 Hubungan specific gravity dan indek bias minyak bumi

Minyak bumi merupakan larutan campuran yang kandungannya berbeda-beda dengan minyak bumi lainnya. Untuk itu, sulit untuk menentukan nilai specific gravity minyak bumi dari suatu kandungan tertentu jika hanya merujuk pada satu jenis senyawa yang ada pada minyak bumi. Hal ini dikarenakan komposisi minyak bumi berbeda-beda bahkan untuk nilai SG yang sama.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh M.Vargas (2010) didapatkan bahwa perbandingan antara indeks bias dan densitas massa dari setiap minyak bumi selalu sama untuk setiap nilai SG-nya. Sebanyak 229 sampel minyak bumi dengan variasi nilai SG diuji terhadap konsistensi perbandingan nilai  $n$  terhadap densitasnya. Hasil dari pengujian ditampilkan pada **Gambar 2.6**.



**Gambar 2.7** Grafik konsistensi nilai indeks bias terhadap perubahan API (Vargas, 2010)

Berdasarkan **Gambar 2.7**, diketahui bahwa perbandingan nilai indeks bias terhadap densitas massa minyak bumi adalah selalu mendekati 0.33 untuk setiap nilai API-nya. Pola ini selanjutnya disebut sebagai aturan satu pertiga atau *one-third rule*. Perumusan *one-third rule* ditunjukkan oleh persamaan (2.8)

$$\left(\frac{n^2-1}{n^2+2}\right) \frac{1}{\rho} \approx \frac{1}{3} \quad (2.8)$$

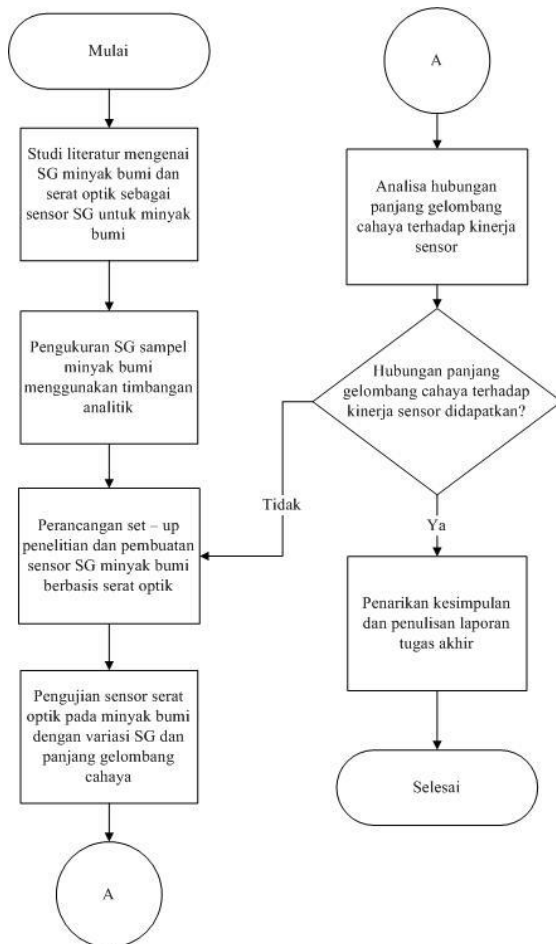
Dengan  $n$  adalah indeks bias minyak bumi dan  $\rho$  adalah massa jenis dari minyak bumi dalam satuan (g/ml). Massa jenis minyak bumi dapat dihitung jika nilai SG dari minyak bumi telah diketahui terlebih dahulu.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang metodologi yang akan dilaksanakan dalam penelitian. Secara garis besar penelitian ini mengikuti diagram alir pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1.** Diagram alir penelitian

Diagram alir pada **gambar 3.1** merupakan diagram alir penelitian tugas akhir ini. Studi literatur mengenai SG minyak bumi dan sensor serat optik telah dibahas pada bab I dan bab II pada laporan tugas akhir ini. Pengukuran SG sampel minyak bumi dan perancangan set – up penelitian akan dibahas pada bab ini. Begitu pula dengan langkah - langkah pembuatan sensor serat optik untuk mengukur SG minyak dan pengujiannya terhadap variasi SG minyak bumi dan panjang gelombang cahaya. Sedangkan bab IV akan membahas tentang hasil penelitian ini dan bab V sebagai kesimpulan penelitian dan saran penelitian selanjutnya.

Bab ini menjelaskan bagaimana pengambilan data atau eksperimen berlangsung. Secara umum bab ini akan dibagi menjadi sub-bagian menjadi berikut :

- Pengukuran SG minyak bumi menggunakan timbangan analitik.
- Perancangan set-up alat penelitian.
- Pembuatan sensor SG serat optik.
- Proses pengambilan dan pengolahan data.

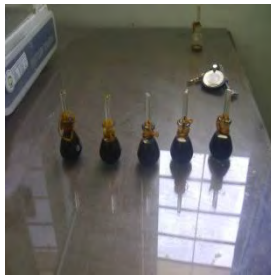
### **3.1 Pengukuran SG minyak bumi menggunakan timbangan analitik.**

Sampel minyak bumi yang digunakan pada penelitian ini merupakan minyak bumi yang diambil langsung dari sumurnya. Sehingga, nilai SG dari masing – masing sampel minyak bumi belum diketahui. Untuk itu, pengukuran dengan menggunakan timbangan analitik bertujuan untuk mengetahui SG dari sampel minyak bumi tersebut.

Pengukuran SG menggunakan timbangan analitik mengadaptasi standar ASTM (*American Society for Testing and Materials*) D 5355 – 95. Tabung *pycnometer* digunakan sebagai wadah minyak bumi dalam pengukuran ini. Tabung *pycnometer* dipilih dikarenakan tabung memiliki tutup yang rapat sehingga minyak bumi yang ada didalamnya tidak menguap. Penguapan minyak bumi dapat mempengaruhi pengukuran dikarenakan dapat mengurangi massa dari minyak bumi pada saat ditimbang.



Langkah – langkah dalam melakukan pengukuran SG menggunakan timbangan analitik adalah sebagai berikut : Pertama, tabung pycnometer dibersihkan dari uap air atau debu agar tidak mempengaruhi pengukuran. Kedua, botol dalam keadaan kosong ditimbang dengan timbangan analitik. Ketiga, minyak dituang kedalam tabung dengan volum 10 ml. Keempat, minyak dan botol ditimbang dengan menggunakan timbangan analitik. Semua sampel minyak dan air murni (aquades) diukur dengan langkah – langkah yang sama.



(a)



(b)

**Gambar 3.2.** Pengukuran sampel minyak bumi menggunakan timbangan analitik. a) Sampel minyak bumi dalam tabung pycnometer. b) Sampel dalam timbangan analitik.

Setelah mendapatkan hasil pengukuran dari sampel minyak bumi dan air. Maka tahap selanjutnya adalah menghitung nilai SG dengan persamaan di bawah ini :

$$SG_{minyak\ bumi} = \frac{(m_{wadah} + m_{minyak\ bumi}) - m_{wadah}}{(m_{wadah} + m_{air}) - m_{wadah}} \quad (3.1)$$

Dengan  $m_{wadah}$  adalah massa dari tabung *pycnometer* dalam keadaan kosong. Persamaan diatas berlaku dengan syarat volum minyak dan volum air adalah sama. Pada pengukuran ini volum keduanya adalah 10 ml. Selain itu, temperatur ruangan pada saat

pengambilan sampel juga dijaga. Sehingga, tidak ada perbedaan temperature antar pengukuran.

Berdasarkan hasil pengukuran didapatkan nilai SG dari masing – masing sampel adalah sebagai berikut:

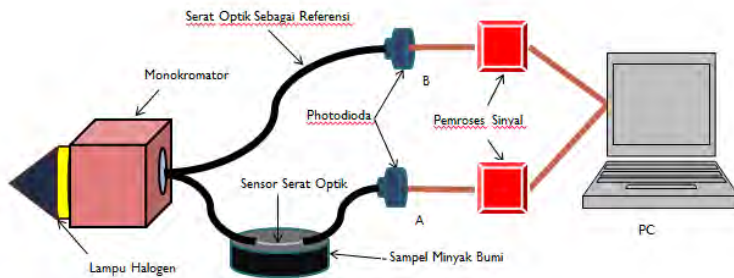
**Tabel 3.1.** Hasil pengukuran SG sampel minyak bumi menggunakan timbangan analitik.

| No | Nama Sampel Minyak | <i>Specific Gravity</i> |
|----|--------------------|-------------------------|
| 1  | Sukowati           | 0.807                   |
| 2  | Mudi               | 0.82                    |
| 3  | Kawengan           | 0.832                   |
| 4  | Adera 1            | 0.858                   |
| 5  | Adera Pengabuan    | 0.876                   |

Lima sampel diatas merupakan sampel yang digunakan pada penelitian ini. Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan timbangan, didapatkan bahwa SG dari masing – masing sampel minyak bumi berbeda. Nama sampel diambil dari nama sumur tempat minyak bumi diambil.

### 3.2 Perancangan set-up alat penelitian

Sebelum melakukan pengambilan data, terlebih dahulu perlu dibuat sebuah set-up alat penelitian. Set-up alat penelitian ditunjukkan oleh **Gambar 3.3**. Desain set-up alat penelitian ini adalah dengan menggunakan serat optik dan dua buah *optical power meter*. Hal ini bertujuan untuk mengatasi fluktuasi daya pada sumber cahaya. Teknik pengukuran seperti ini disebut dengan teknik pengukuran rasiometrik, yaitu dimana salah satu serat optik digunakan sebagai pembanding (referensi) untuk serat optik lainnya.



**Gambar 3.3.** Skema set-up alat penelitian

Sumber cahaya yang digunakan pada penelitian ini adalah lampu halogen. Cahaya dari lampu halogen merupakan cahaya polikromatik. Setelah itu, cahaya masuk ke monokromator dan terurai menjadi cahaya monokromatik. Selanjutnya, cahaya keluar sebagai output dari monokromator sesuai dengan panjang gelombang yang telah ditentukan. Output dari monokromator tersebut di-coupling dengan serat optik plastik. Terdapat dua bagian serat optik yaitu serat optik sebagai referensi dan serat optik sebagai sensor. Cahaya yang melalui kedua serat optik selanjutnya akan diukur dayanya dengan menggunakan *optical power meter* yang terdiri dari fotodiode dan pemroses sinyal. Data dari power meter kemudian disimpan dalam PC untuk selanjutnya diolah.

Berikut merupakan deskripsi mengenai alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- *Optical power meter*

*Optical power meter* merupakan alat yang digunakan untuk mengukur daya optik dari sumber cahaya. Alat ini diproduksi oleh Thorlabs dengan nomer seri produk PM 100D. Sensor yang digunakan pada alat ini adalah fotodiode dengan rentang operasi panjang gelombang 400 – 1100 nm. Rentang operasi ini sesuai dengan yang dibutuhkan oleh penelitian ini yaitu 430 – 700 nm. Selain itu, terdapat pemroses & pengkondisi sinyal pada alat ini. Sehingga tidak perlu menambahkan rangkaian elektronik sebagai

pengkondisi sinyal pada set-up penelitian. Data dari pemroses sinyal bias langsung ditampilkan atau direkam pada *Personal Computer* (PC) melalui kabel *Universal Serial Bus* (USB).

- Serat Optik Plastik

Serat optik yang digunakan pada penelitian ini serat optik *multimode step index*. Diameter dari *core* serat optik adalah 980  $\mu\text{m}$  (diameter total 1000  $\mu\text{m}$ ) dan memiliki indeks bias core yaitu 1,49. *Numerical Aperture* (NA) dari serat optik ini adalah 0,5. Serat optik ini diproduksi oleh Industrial Fiber Optiks dengan kode seri SH4001. Jenis serat optik dipilih dikarenakan diameter core-nya yang besar sehingga mempermudah dalam proses coupling serat optik ke sumber cahaya.

- Lampu halogen

Lampu halogen merupakan salah satu sumber cahaya polikromatik. Lampu halogen digunakan karena pada penelitian ini sumber cahaya yang dibutuhkan adalah sumber cahaya yang polikromatik. Karena sumber energy dari lampu halogen adalah listrik AC (*Alternating Current*) atau arus bolak balik. Untuk meminimalisir fluktuasi daya maka digunakan stabilizer agar tegangan yang digunakan oleh lampu halogen tetap stabil.

- Monokromator

Monokromator dipergunakan untuk merubah cahaya polikromatik menjadi monokromatik. Monokromator yang digunakan pada penelitian ini adalah monokromator yang menggunakan grating pada proses penguraian cahayanya. Range penguraian cahaya monokromator ini adalah 0-999 nm.

### 3.3 Pembuatan sensor SG menggunakan serat optik

Berdasarkan **Gambar 3.3**, serat optik plastik digunakan sebagai sensor SG pada set-up alat penelitian ini. Serat optik yang digunakan merupakan serat optik yang *cladding*nya dikupas. Peralatan yang diperlukan untuk pembuatan sensor SG berbasis

serat optik ini adalah silet, *fiber cutter*, kertas amplas, kertas tisu, penggaris, dan mikrometer sekrup.



**Gambar 3.4.** Serat optik yang telah dikupas *cladding*-nya

Langkah – langkah pembuatan sensor adalah sebagai berikut: Pertama, serat optik plastik dipotong sepanjang 10 cm dengan menggunakan *fiber cutter*. Setelah terpotong, serat optik dikupas pada bagian tengahnya sepanjang 2 cm menggunakan silet secara perlahan. Selanjutnya, bagian yang telah terkupas diampelas dengan menggunakan kertas amplas secara perlahan dengan arah melingkar. Hal ini dilakukan untuk mengupas bagian *cladding* dari serat optik secara merata. Tebal dari *cladding* dari serat optik adalah 20  $\mu\text{m}$  dari diameter total serat optik tanpa jaket adalah 1000  $\mu\text{m}$ . Untuk itu, mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur diameter dari serat optik. Jika serat optik telah memiliki diameter 980  $\mu\text{m}$ , maka serat optik telah siap untuk digunakan sebagai sensor atau dengan kata lain *cladding* telah terkupas (hanya bagian core yang tersisa).

Serat optik yang telah dikupas *cladding*-nya ditunjukkan oleh **Gambar 3.4.** Terlihat pada gambar cahaya keluar dari serat optik menunjukkan bahwa *cladding* telah terkupas. Jika *cladding* tidak terkupas, maka cahaya tidak akan keluar karena cahaya dipantulkan oleh *cladding*.

### 3.4 Proses pengambilan dan pengolahan data

Sebelum melakukan pengambilan data menggunakan sensor SG dari serat optik yang telah dibuat. Maka terlebih dahulu dilakukan pengujian respon dari kedua fotodioda yang digunakan pada penelitian ini. Hasil dari pengujian ditampilkan pada **tabel 3.2** dan **tabel 3.3**

**Tabel 3.2.** Pengukuran daya dengan menggunakan fotodioda A dan B pada output serat optik referensi.

| Ukur ke - | A<br>( $\times 10^{-8}$ W) | B<br>( $\times 10^{-8}$ W) | Rata –rata<br>( $\times 10^{-8}$ W) | Error<br>A (%) | Error B<br>(%) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|----------------|----------------|
| I         | 1.95                       | 1.96                       | 1.96                                | 0.256          | -0.255         |
| II        | 2.00                       | 1.98                       | 1.99                                | -0.500         | -0.505         |
| III       | 1.99                       | 2.00                       | 2.00                                | 0.251          | 0.250          |

**Tabel 3.3.** Pengukuran daya dengan menggunakan fotodioda A dan B pada output serat optik sensor.

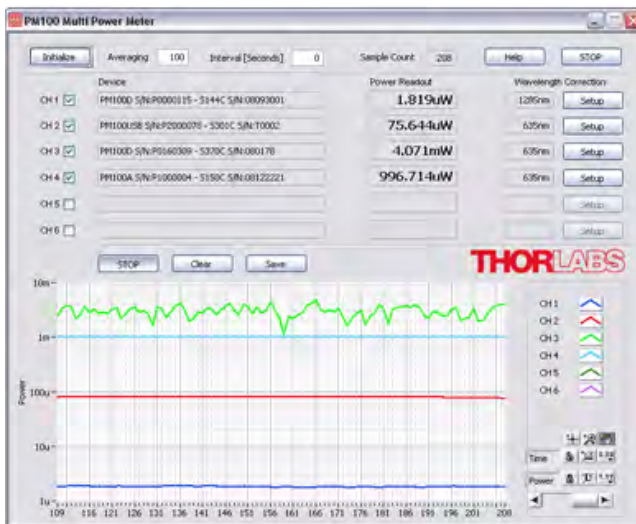
| Ukur ke - | A<br>( $\times 10^{-8}$ W) | B<br>( $\times 10^{-8}$ W) | Rata – rata<br>( $\times 10^{-8}$ W) | Error A<br>(%) | Error B<br>(%) |
|-----------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------|----------------|
| I         | 1.66                       | 1.73                       | 1.69                                 | -2.10          | 2.02           |
| II        | 1.65                       | 1.72                       | 1.68                                 | -2.12          | 2.03           |
| III       | 1.67                       | 1.73                       | 1.7                                  | -1.79          | 1.78           |

Pengukuran yang ditampilkan pada **table 3.2** dan **table 3.3** bertujuan untuk mengetahui respon dari kedua sensor fotodioda. Dikarenakan set-up penelitian menggunakan dua sensor fotodioda yang berbeda yaitu fotodioda A dan fotodioda B (lihat **gambar 3.3**), maka diimungkinkan ada perbedaan respon dari kedua sensor. Namun, berdasarkan hasil pengujian *error* dari kedua sensor memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Sehingga respon dari kedua fotodioda dianggap sama.

Setelah itu tahap selanjutnya adalah merangkai peralatan dan bahan sesuai dengan skema set-up alat penelitian. Set-up alat penelitian di rangkai dirangkai pada meja anti getar agar

meminimalisasi pengaruh getaran pada saat pengambilan data. Selain itu penggunaan statif penyangga juga diperlukan agar posisi dari masing – masing alat tidak berubah.

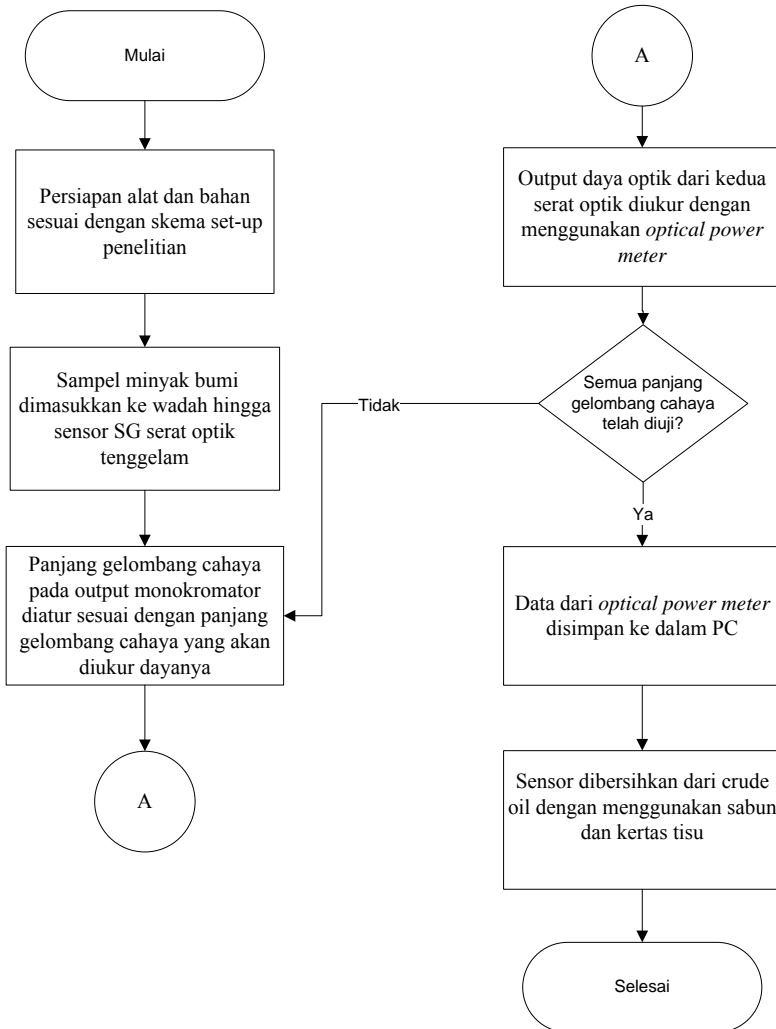
Pengambilan data dari penelitian ini adalah dengan menggunakan *software* PM100 multi power sebagai *software data logger*. *Software* ini merupakan *software* yang terintegrasi dengan *optical power meter* yang digunakan pada penelitian ini. Penggunaan dua *optical power meter* bersamaan menjadi bahan pertimbangan dalam menggunakan *software* ini. Karena *software* ini dapat mengambil data dari kedua *optical power meter* secara bersamaan.



**Gambar 3.5.** Tampilan *software* Thorlabs multi power meter (thorlabs.com)

*Software* Thorlabs multi power meter digunakan untuk mengambil data secara bersamaan atau *real time* pada kedua serat optik. *Software* ini merupakan *software* yang dikeluarkan oleh perusahaan sama dengan *optical power meter* yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan 2 input yaitu input dari sensor dan input dari referensi yang kemudian ditampilkan bersamaan pada

*software* ini. Hasil pengukuran dapat disimpan langsung dalam bentuk *file .txt* untuk selanjutnya diolah.



**Gambar 3.6.** Prosedur pengambilan data percobaan untuk setiap satu sampel minyak bumi.



Pada **Gambar 3.6** menjelaskan tentang prosedur atau langkah-langkah dalam mengambil data percobaan. Prosedur tersebut berlaku setiap satu sampel minyak bumi. Jadi, prosedur tersebut dilakukan sebanyak lima kali karena jumlah sampel yang digunakan pada penelitian ini ada 5 sampel.

Alat dan bahan dipersiapkan terlebih dahulu sesuai dengan skema set-up alat penelitian ditunjukkan oleh **Gambar 3.3**. Setelah semua peralatan dan bahan terpasang sesuai skema, maka lampu halogen, optical power meter, dan PC dinyalakan. Kemudian, sampel minyak bumi dituangkan pada wadah yang telah dipersiapkan, hingga sensor SG serat optic tenggelam. Serat optic ditenggelamkan dalam minyak bumi agar seluruh permukaan serat optic yang telah dikupas dikelilingi oleh minyak bumi sebagai pengganti cladding yang telah dikupas. Setelah itu, output panjang gelombang cahaya pada monokromator diatur sesuai dengan panjang gelombang cahaya yang ditentukan. Panjang gelombang cahaya yang ditentukan adalah 430 nm hingga 700 nm dengan increment 30 nm. Jika daya output dari kedua serat optic telah diukur untuk semua panjang gelombang, maka hasil pengukuran disimpan ke dalam PC untuk selanjutnya diolah. Setelah itu, sensor SG dibersihkan dengan menggunakan kertas tisu dan air sabun. Jumlah sampel minyak bumi yang digunakan ada 5 jenis sampel. Sehingga, jumlah titik pengujian sensor SG serat optic adalah 50 titik.

Setelah sensor SG serat optic telah selesai diuji, maka tahap selanjutnya adalah pengolahan data. Format file dari software Thorlabs multi power meter adalah .txt sehingga dirubah terlebih dahulu menjadi .xls. Sehingga, data hasil pengujian dapat diolah dengan menggunakan *software* Microsoft Excel.

$$\text{Rasio Daya (dB)} = 10 \log \frac{P_{\text{sensor}}}{P_{\text{referensi}}} \quad (3.2)$$

$P_{\text{sensor}}$  merupakan besarnya daya yang keluar dari serat optik sensor dalam satuan watt.  $P_{\text{referensi}}$  merupakan besarnya daya yang keluar dari serat optik referensi dalam satuan Watt (W). Penggunaan logaritmik dilakukan karena nilai daya dari kedua

serat optik yang sangat kecil berkisar antara  $10^{-6}$  W hingga  $10^{-7}$  W. Sehingga penggunaan logaritmik pada perhitungan dilakukan untuk memudahkan dalam analisa data.

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil percobaan yang telah dilakukan. Hasil percobaan ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik beserta dengan pembahasannya. Pembahasan meliputi uraian hasil percobaan yang telah dilakukan hingga didapatkan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan dari penelitian ini.

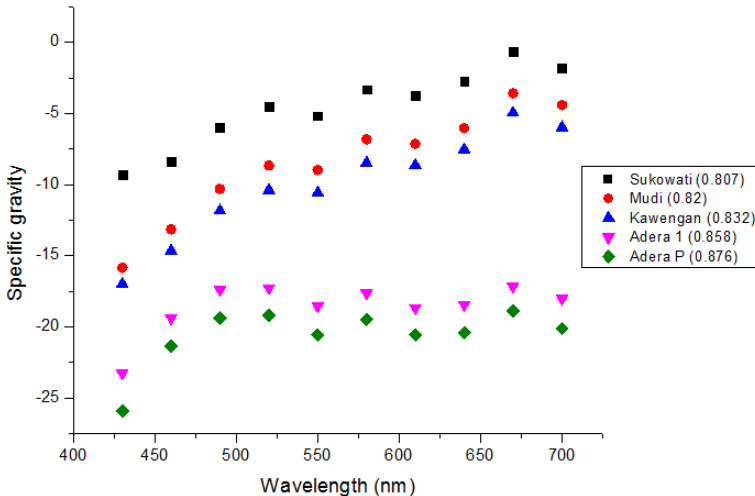
Setelah pengujian sensor SG serat optic selesai dilakukan. Maka data hasil pengujian dengan menggunakan persamaan 3.2. Berikut merupakan hasil pengolahan data yang ditampilkan dalam bentuk tabel.

**Tabel 4.1** Rasio daya untuk setiap sampel minyak bumi terhadap panjang gelombang cahaya.

| <i>Wavelength</i><br>(nm) | Rasio Daya (dB)     |                |                     |                    |                    |
|---------------------------|---------------------|----------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                           | Sukowati<br>(0.807) | Mudi<br>(0.82) | Kawengan<br>(0.832) | Adera 1<br>(0.858) | Adera P<br>(0.876) |
| 430                       | -9.288              | -15.841        | -16.992             | -23.261            | -25.911            |
| 460                       | -8.370              | -13.148        | -14.651             | -19.375            | -21.367            |
| 490                       | -6.009              | -10.308        | -11.842             | -17.385            | -19.377            |
| 520                       | -4.504              | -8.664         | -10.392             | -17.279            | -19.199            |
| 550                       | -5.165              | -8.977         | -10.577             | -18.559            | -20.556            |
| 580                       | -3.310              | -6.828         | -8.469              | -17.641            | -19.477            |
| 610                       | -3.769              | -7.139         | -8.643              | -18.667            | -20.559            |
| 640                       | -2.728              | -6.040         | -7.543              | -18.446            | -20.401            |
| 670                       | -0.653              | -3.593         | -4.953              | -17.159            | -18.860            |
| 700                       | -1.779              | -4.414         | -5.982              | -18.017            | -20.125            |

Pada **Tabel 4.1** menunjukan nilai rasio daya untuk setiap sampel minyak bumi per panjang gelombang cahaya. Sesuai dengan persamaan (3.2), rasio daya merupakan perbandingan

daya output dari serat optik sebagai sensor dengan daya output dari serat optik sebagai referensi. Rasio dinyatakan dengan satuan dB karena merupakan hasil perhitungan logaritmik.



**Gambar 4.1** Grafik perbandingan rasio daya terhadap panjang gelombang cahaya.

Nilai negatif pada **Tabel 4.1** menunjukkan bahwa daya output dari serat optik sebagai sensor lebih kecil daripada serat optik sebagai referensi. Sehingga, nilai rasio daya menjadi berpangkat negatif. Berikut merupakan grafik rasio daya terhadap panjang gelombang cahaya.

Grafik di atas menunjukkan rasio daya sensor serat optik terhadap panjang gelombang cahaya yang digunakan. Terlihat bahwa semakin bertambah panjang gelombang cahaya, rasio daya dari sensor cenderung semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar panjang gelombang cahaya maka daya output dari serat optik sebagai sensor semakin membesar atau attenuasi pada serat optik sebagai sensor semakin kecil.

**Tabel 4.2** Rata – rata daya output (referensi & sensor) untuk setiap sampel minyak bumi per panjang gelombang

| Panjang Gelombang (nm) | Sukowati (0,807)                                |  | Mudi (0,820)                                    |  | Kawengan (0,832)                                |  |
|------------------------|---|--|---|--|---|--|
|                        | P <sub>referensi</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>sensor</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>referensi</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>sensor</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>referensi</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>sensor</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) |
| 430                    | 0,209   | 0,169  | 0,214   | 0,149  | 0,207   | 0,140  |
| 460                    | 0,428   | 0,353  | 0,438   | 0,323  | 0,421   | 0,300  |
| 490                    | 0,732   | 0,637  | 0,729   | 0,575  | 0,733   | 0,558  |
| 520                    | 1,049   | 0,946  | 1,034   | 0,847  | 1,044   | 0,822  |
| 550                    | 1,353   | 1,201  | 1,378   | 1,121  | 1,366   | 1,071  |
| 580                    | 1,640   | 1,520  | 1,650   | 1,410  | 1,635   | 1,345  |
| 610                    | 1,708   | 1,566  | 1,759   | 1,493  | 1,707   | 1,399  |
| 640                    | 1,588   | 1,491  | 1,625   | 1,414  | 1,622   | 1,364  |
| 670                    | 1,386   | 1,365  | 1,411   | 1,299  | 1,438   | 1,283  |
| 700                    | 1,395   | 1,339  | 1,438   | 1,299  | 1,464   | 1,275  |

| Panjang<br>Gelombang<br>(nm) | Adera 1 (0,858)                                 |  | Adera Pengabuan (0,876)                         |  |
|------------------------------|---|--|---|--|
|                              | P <sub>referensi</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>sensor</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>referensi</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) | P <sub>sensor</sub><br>( $\times 10^{-6}$ W) |
| 430                          | 0,207   | 0,121  | 0,205   | 0,113  |
| 460                          | 0,424   | 0,272  | 0,421   | 0,258  |
| 490                          | 0,722   | 0,484  | 0,724   | 0,463  |
| 520                          | 1,010   | 0,678  | 1,026   | 0,660  |
| 550                          | 1,323   | 0,863  | 1,329   | 0,828  |
| 580                          | 1,563   | 1,041  | 1,571   | 1,003  |
| 610                          | 1,677   | 1,091  | 1,655   | 1,031  |
| 640                          | 1,560   | 1,020  | 1,527   | 0,954  |
| 670                          | 1,372   | 0,925  | 1,343   | 0,870  |
| 700                          | 1,382   | 0,913  | 1,365   | 0,859  |

**Tabel 4.3** Rentang rasio daya untuk setiap panjang gelombang cahaya.

| <i>Wavelength</i> (nm) | Rentang Rasio Daya (dB) |
|------------------------|-------------------------|
| 430                    | -35,2                   |
| 460                    | -29,7                   |
| 490                    | -25,4                   |
| 520                    | -23,7                   |
| 550                    | -25,7                   |
| 580                    | -2,28                   |
| 610                    | -2,43                   |
| 640                    | -23,1                   |
| 670                    | -19,5                   |
| 700                    | -21,9                   |

Selain itu, terdapat perbedaan rentang rasio daya untuk setiap panjang gelombang cahaya. Perbedaan rentang rasio daya ditampilkan pada **Tabel 4.3**. Rentang rasio daya merupakan selisih antara rasio daya pada sampel minyak bumi dengan nilai SG paling besar dengan rasio daya pada sampel minyak bumi dengan nilai SG paling kecil. Rentang rasio daya dapat juga dinyatakan sebagai *output span* dari suatu sensor.

Pada **Tabel 4.3**, dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya panjang gelombang cahaya maka rentang rasio cenderung semakin menurun. Nilai negatif dikarenakan rasio daya pada nilai SG yang paling besar lebih negatif dibandingkan dengan rasio daya pada nilai SG yang paling kecil. Sehingga, hasil pengurangan dari keduanya menghasilkan nilai yang negatif. Rentang rasio daya terbaik atau span rasio daya terbaik adalah pada panjang gelombang 430 nm.

**Tabel 4.4** menunjukkan sensitivitas sensor SG serat optik untuk setiap panjang gelombang cahaya. Menurut Bentley (2003), sensitivitas sensor adalah rasio dari perubahan output terhadap

perubahan input. Input pada sensor SG serat optik ini adalah SG dari minyak bumi. Sedangkan, untuk output dari sensor SG serat optik adalah rasio daya.

**Tabel 4.4** Sensitivitas sensor SG serat optik untuk setiap panjang gelombang cahaya.

| <i>Wavelength</i> (nm) | Sensitivitas (dB) |
|------------------------|-------------------|
| 430                    | -47,05            |
| 460                    | -41,02            |
| 490                    | -36,21            |
| 520                    | -34,35            |
| 550                    | -36,58            |
| 580                    | -33,34            |
| 610                    | -35,04            |
| 640                    | -33,72            |
| 670                    | -29,72            |
| 700                    | -32,36            |

Jika kita lihat pada tabel **Tabel 4.4** didapatkan bahwa sensor serat optik memiliki sensitivitas paling tinggi pada panjang gelombang 430 nm yaitu -47,05 dB. Sensitivitas terendah pada panjang gelombang 470 nm yaitu -29,72 dB. Sensitivitas dari serat optik dinyatakan dalam dB karena input dari sensor adalah nilai SG minyak bumi yang tidak memiliki satuan. Seperti pada persamaan 2.4, SG adalah besaran yang tidak memiliki satuan karena merupakan perbandingan massa jenis material terhadap massa jenis air.

Perhitungan linearitas dari sensor dilakukan dengan menambah fitting linear pada grafik. Nilai  $R^2$  pada grafik menunjukkan seberapa dekat grafik terhadap fitting linier. Semakin mendekati garis fitting linear maka grafik semakin linear. jika nilai  $R^2$  semakin mendekati angka 1 maka grafik semakin mendekati garis



fitting linear atau dengan kata lain grafik semakin linier. Dikarenakan terdapat sepuluh garis pada grafik, maka fitting nilai  $R^2$  pada grafik ditampilkan pada **Tabel 4.5**. Hal ini dilakukan agar nilai  $R^2$  lebih mudah terbaca. Karena jika ditampilkan dalam bentuk grafik, nilai  $R^2$  tidak terlihat jelas.

**Tabel 4.5** Nilai  $R^2$  untuk setiap panjang gelombang cahaya.

| <i>Wavelength (nm)</i> | $R^2$  |
|------------------------|--------|
| 430                    | 0,9563 |
| 460                    | 0,9633 |
| 490                    | 0,9773 |
| 520                    | 0,9803 |
| 550                    | 0,9812 |
| 580                    | 0,9763 |
| 610                    | 0,9709 |
| 640                    | 0,968  |
| 670                    | 0,9546 |
| 700                    | 0,959  |

Berdasarkan **Tabel 4.5** didapatkan bahwa nilai  $R^2$  pada setiap panjang gelombang lebih besar dari 0,9. Namun, nilai tertinggi dari  $R^2$  adalah pada panjang gelombang 550 nm yaitu 0,9812. Dengan kata lain, panjang gelombang 550nm memiliki linearitas yang paling tinggi dibanding dengan panjang gelombang lainnya.

Prinsip kerja dari sensor SG serat optik pada penelitian ini adalah menggunakan prinsip *Numerical aperture mismatch*. *Numerical aperture (NA) Mismatch* adalah suatu peristiwa dimana kedua fiber optik yang memiliki beda *Numerical aperture* di-gabung menjadi satu dengan menggunakan *splicer*. Splicer adalah alat yang digunakan oleh *Numerical aperture (NA) mismatch* biasanya terjadi pada sambungan serat optik dikarenakan dari kedua serat optik memiliki numerical apperture yang berbeda.

**Tabel 4.6** Perhitungan *Numerical Apperture* dan *NA Mismatch Loss* dari sensor SG serat optik untuk setiap sampel minyak bumi.

| SG Sampel<br>Minyak Bumi | NA Sensor<br>SG Serat<br>Optik | n     | NA<br><i>Mismatch<br/>Loss</i> (dB) |
|--------------------------|--------------------------------|-------|-------------------------------------|
| 0,807                    | 0,411                          | 1,432 | 1,70                                |
| 0,820                    | 0,382                          | 1,440 | 2,33                                |
| 0,832                    | 0,353                          | 1,447 | 3,02                                |
| 0,858                    | 0,279                          | 1,464 | 5,07                                |
| 0,876                    | 0,211                          | 1,475 | 7,48                                |

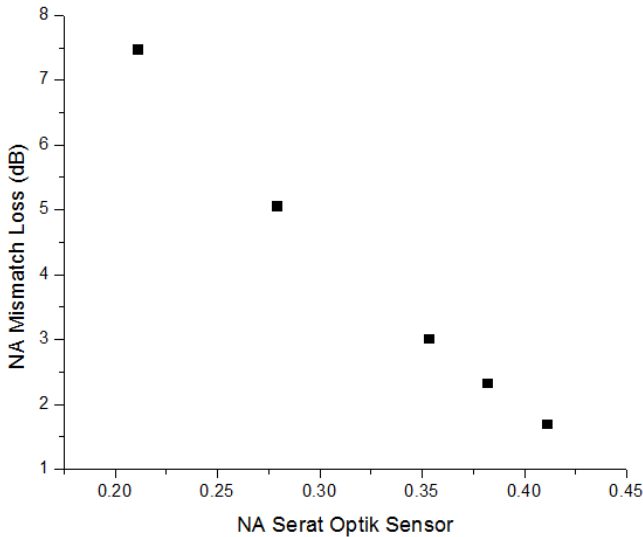
Nilai NA dipengaruhi oleh indeks bias dari cladding dan core serat optik. Penelitian ini menggunakan sensor serat optik yang telah dikupas claddingnya sebagai sensor. Untuk itu, indeks bias minyak bumi menjadi pengganti indeks bias cladding yang telah dikupas. Sehingga, terjadi perbedaan nilai NA antara serat optik yang belum dikupas claddingnya dengan serat optik yang claddingnya telah dikupas (minyak bumi sebagai pengganti cladding).

NA dari serat optik yang belum dikupas adalah 0,5. Sedangkan, indeks bias dari core adalah 1,49 dan indeks bias cladding yang belum dikupas adalah 1,4. Indeks bias dari 0,5 sampel minyak bumi yang digunakan lebih besar daripada indeks bias cladding semula (yang belum dikupas). Untuk perhitungan NA dari serat optik yang sudah dikupas terhadap masing – masing sampel minyak bumi ditunjukkan oleh **Tabel 4.6**.

Perhitungan *NA mismatch loss* pada **Tabel 4.6** menggunakan persamaan (2.7). Jika kita perhatikan, semakin besar SG minyak bumi maka akan semakin besar nilai indeks biasnya. Semakin besar indeks biasnya semakin besar NA sensor SG serat optik

pada saat menguji sensor tersebut. Sehingga, semakin besar SG minyak bumi NA *mismatch loss*-nya juga semakin besar.

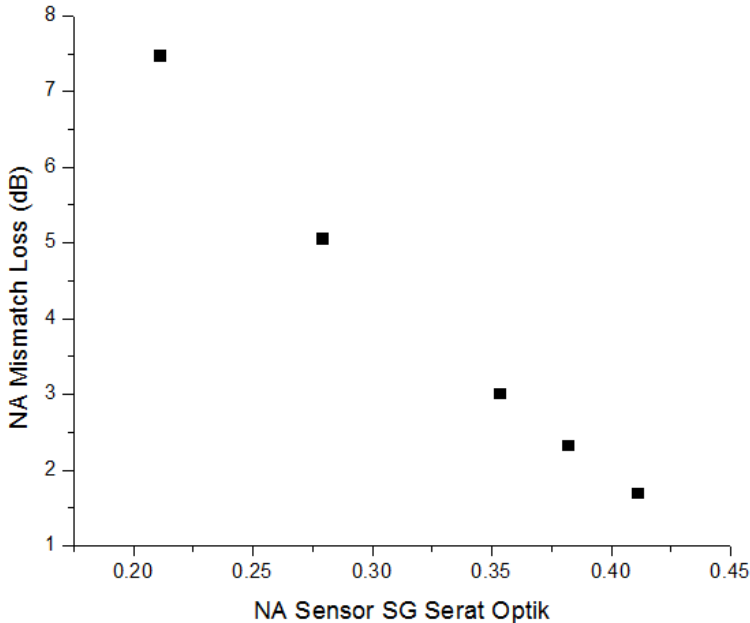
**Gambar 4.3** menunjukkan hubungan antara NA *mismatch loss* terhadap SG minyak bumi.



**Gambar 4.2** Grafik Hubungan NA dengan NA *Mismatch Loss*

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan hubungan antara NA *mismatch loss* terhadap SG minyak bumi.. Rasio daya semakin menurun seiring dengan bertambahnya SG. Sedangkan *loss* semakin ngan bertambahnya SG. Dengan kata lain, rasio daya yang semakin menurun seiring dengan pertambahan nilai SG minyak bumi disebabkan oleh *loss* yang terjadi akibat perbedaan NA antara serat optik yang belum dikupas claddingnya dengan serat optik yang claddingnya telah diganti dengan minyak bumi. Selain disebabkan oleh perbedaan NA, *loss* juga disebabkan oleh penyerapan dari core serat optik. Berdasarkan data sheet yang dikeluarkan oleh *i-fiberoptics* (produsen serat optik yang

digunakan pada penelitian ini), *loss* akibat absorpsi dari core adalah 0,19 dB/m. Panjang dari serat optik yang digunakan adalah 20 cm. Dengan kata lain, absorpsi pada core sebesar 0,038 dB. Namun, karena panjang dari serat optik yang digunakan tidak berubah – ubah maka *loss* akibat absorpsi diabaikan.



**Gambar 4.3** Hubungan antara NA *mismatch loss* terhadap SG minyak bumi.

Selain itu, pada panjang gelombang cahaya diatas 430 nm, rasio daya dari setiap sampel minyak bumi saling berimpitan. Hal ini menunjukkan bahwa nilai indeks bias dari minyak bumi pada panjang gelombang cahaya tersebut memiliki nilai yang berdekatan. Hal ini sesuai dengan **Gambar 1.3** dimana indeks bias minyak bumi pada panjang gelombang diatas 430 nm cenderung sama. Untuk itu, dapat disimpulkan bahwa panjang

gelombang cahaya mempengaruhi sensitivitas dan linearitas dari sensor SG minyak bumi berbasis serat optik.

Untuk panjang gelombang yang paling tepat digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor SG minyak bumi berbasis serat optik adalah 430 nm dengan sensitivitas -47,05 dB dan  $R^2$  bernilai 0,9563. Hal ini berdasarkan panjang gelombang cahaya yang paling sensitif.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa :

- Perubahan panjang gelombang cahaya pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik mempengaruhi nilai sensitivitas dari sensor dengan kecenderungan sensitivitas menurun seiring dengan pertambahan panjang gelombang cahaya.
- Panjang gelombang cahaya yang paling memiliki nilai sensitivitas paling tinggi untuk digunakan sebagai sumber cahaya pada sensor *specific gravity* berbasis serat optik pada minyak bumi adalah 430 nm yang menghasilkan sebesar sensitivitas -47,05 dB.

#### **5.2 Saran**

Saran yang dapat menjadi pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah :

- Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh suhu terhadap kinerja sensor *specific gravity* berbasis serat optik
- Pengujian pada sampel dengan variasi nilai SG yang lebih banyak agar diketahui konsistensi alat.
- Perlu dilakukan penelitian tentang variasi bentuk lekukan serat optik yang paling baik untuk digunakan.

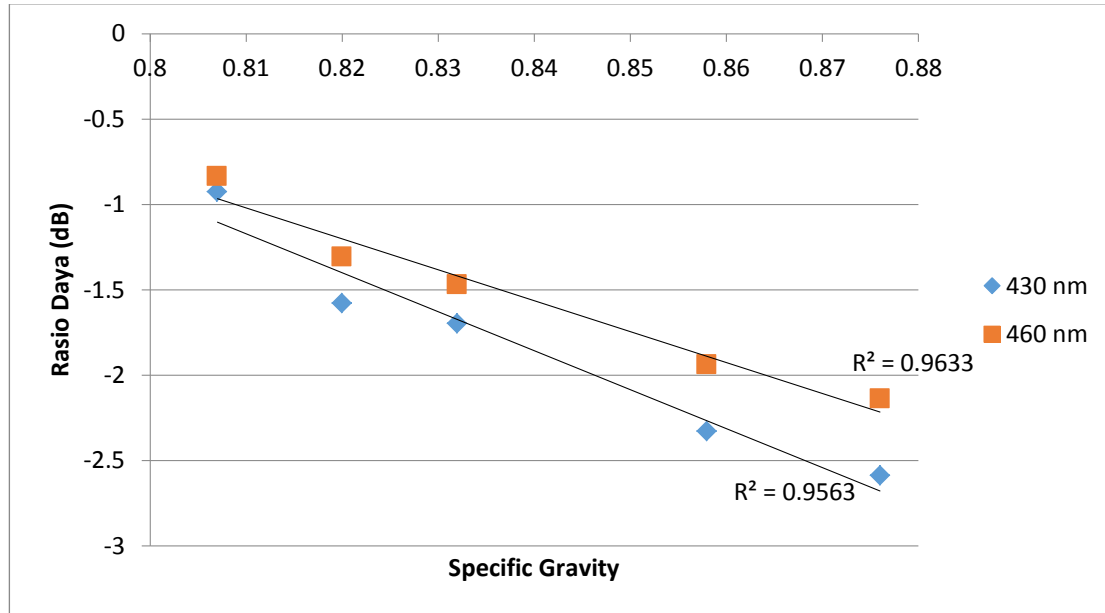
*Halaman ini sengaja dikosongkan*



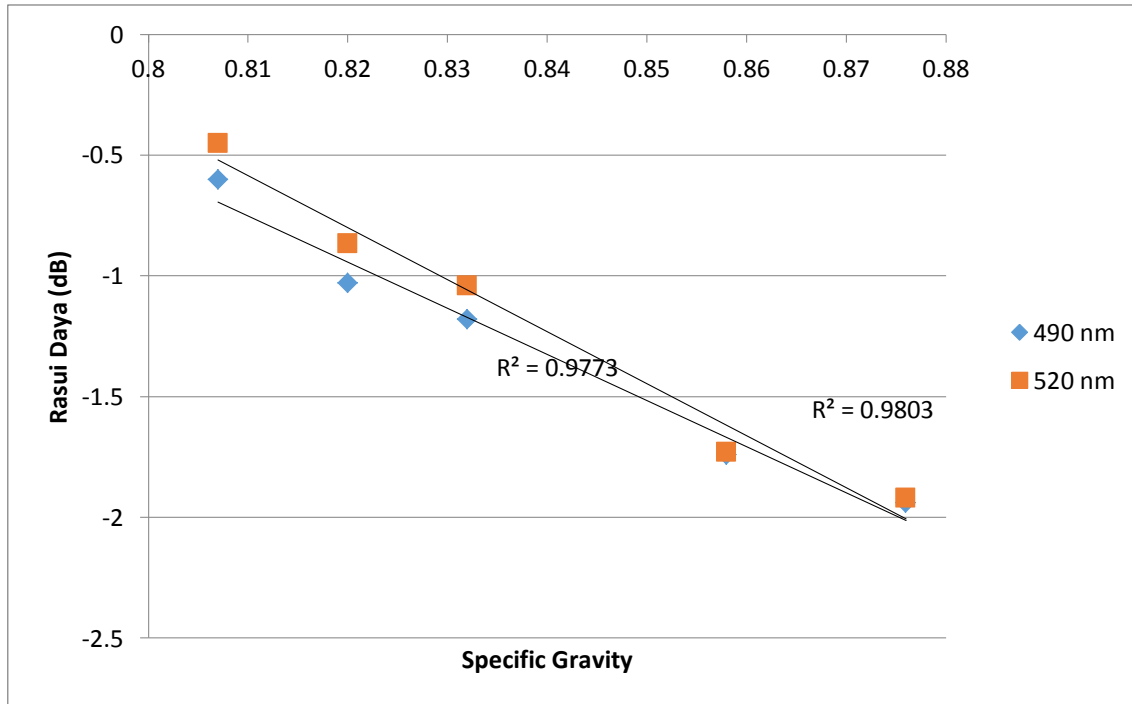
## LAMPIRAN

Grafik fitting linear untuk setiap panjang gelombang :

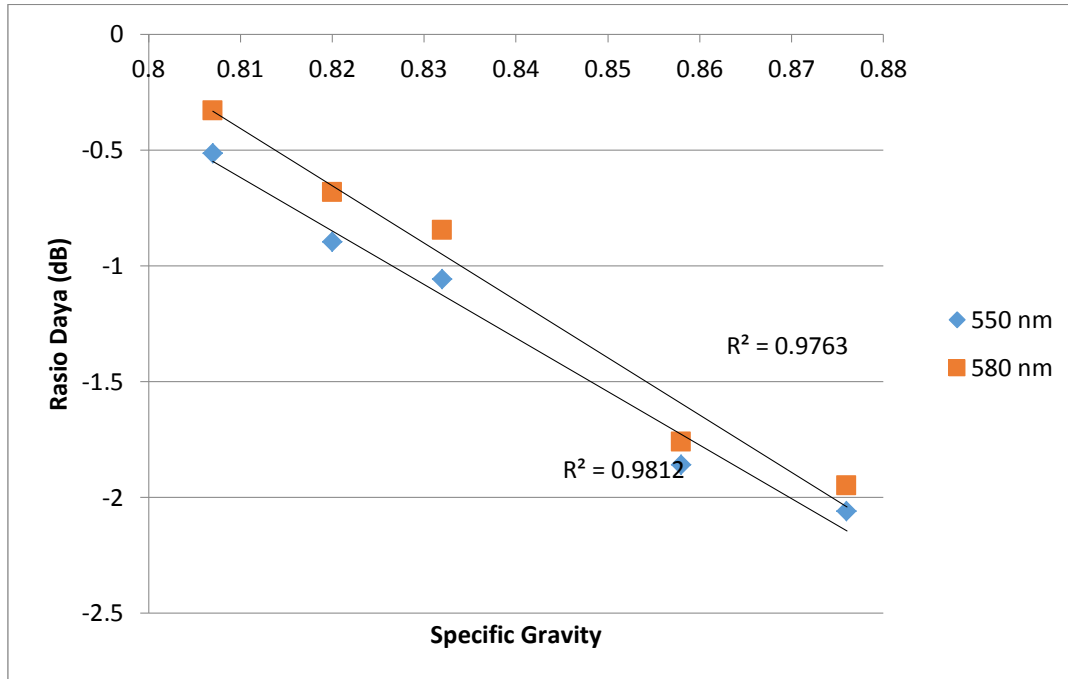
- 430 nm & 460 nm



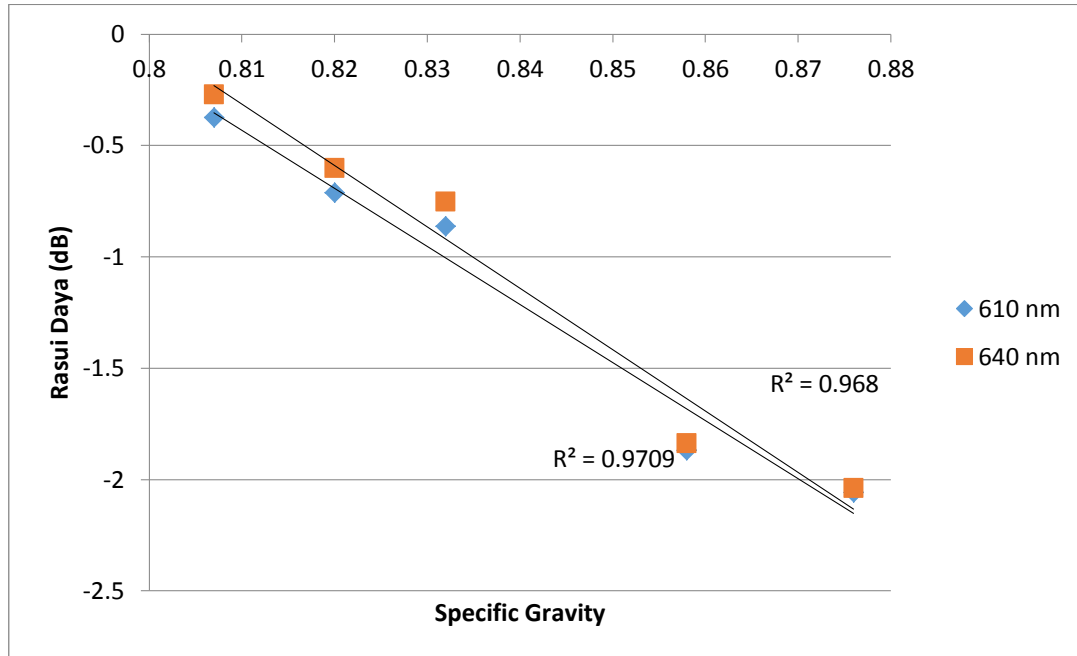
- **490 nm & 520 nm**



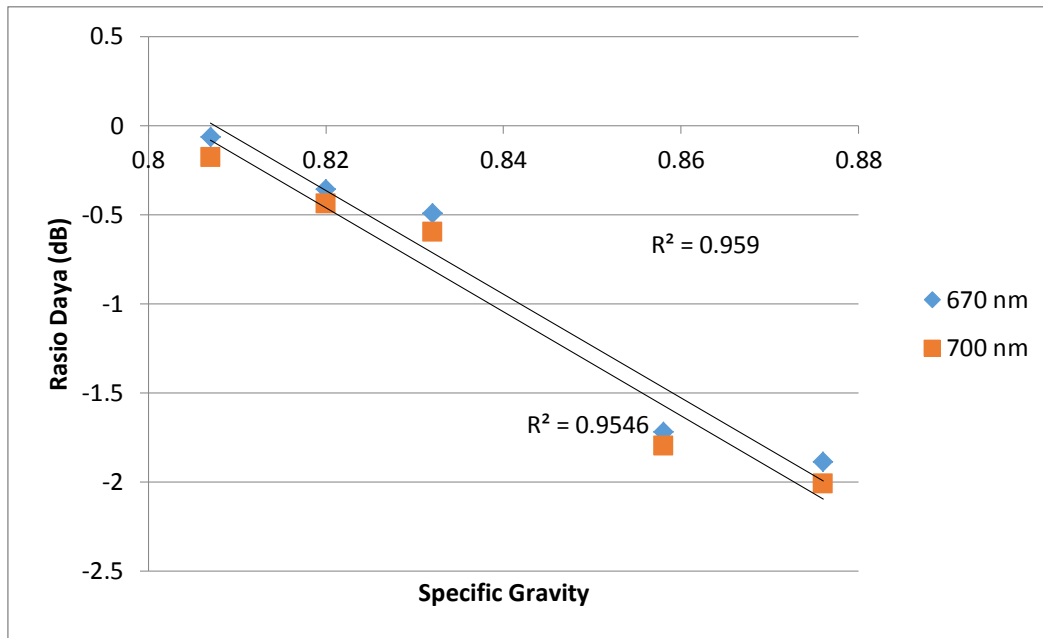
- 550 nm & 580 nm



- **610 nm & 640 nm**



- 670 nm & 700 nm



## DAFTAR PUSTAKA

- Bentley, John. (1995). *Principles of Measurement System, third edition*. Longman Singapore Publishers, Ltd.
- Keiser, G. (2000). *Optical Fiber Communications, second edition*. McGraw-Hill.
- Lee, Jung-Ryul. (2010). *Investigation of cladding stripping methods for specialty optical fibers*. Elsevier
- Matiin, Nafi'ul. (2012). Pengaruh Variasi Bending Sensor pH Berbasis Serat Optik Plastik Menggunakan Lapisan Silica Sol Gel terhadap Sensitivitas. Surabaya.
- Standart Test Method, ASTM D 1298 - 99. "Density, Relative Density (Specific gravity), or API Gravity of Crude Oil Petroleum and Liquid Petroleum Products by Hydrometer Method"
- Yu, Francis TS. Khoo, Iam-Choon. *Principles of Optical Enggenering*. Jonh Wiley & Sons, Inc.
- Radovich, Ljubisa. 1992. Energy and Fuels in Society, McGraw-Hill
- Rizky, Achmad Wahyu. 2013. Rancang Bangun Sensor Specific Gravity pada Crude Oil menggunakan Serat Optik Plastik. Surabaya : Teknik Fisika – ITS.
- Vargas, Francisco M. dan Walter G. Chapman. March 2009. "Application of the One-Third Rule in Hydrocarbon and Crude Oil Systems", Fluid Phase Equilibria 290, 1-2:103-108
- Saleh, Bahaa dan Malvin C. Teich. 2007. Fundamentals of Photonics 2<sup>nd</sup> edition. Jonh Wiley & Sons, Inc.
- Freudenrich, Craig. 2001. How Oil Refining Works, <URL:<http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/oil-refining.htm>>.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BIODATA PENULIS



Lahir pada tanggal 5 Juni 1992 di Samarinda, Kalimantan Timur. Penulis merupakan anak kedua dari Elham Sidik dan Nurhayati dan mulai mengenyam pendidikan di 031 Balikpapan Selatan. Lulus dari pendidikan Sekolah Dasar pada tahun 2004, penulis melanjutkan pendidikan ke SMPN 1 Balikpapan dan lulus pada tahun 2007. Pada tahun tersebut juga, penulis langsung melanjutkan pendidikan ke

SMAN 1 Balikpapan. Lulus dari pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikannya ke jurusan Teknik Fisika ITS pada tahun 2010. Selama kuliah, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika (HMTF) FTI-ITS. Pada tahun 2012-2013 penulis diamanahi sebagai kabirol Kajian Strategis dalam organisasi tersebut. Selama menduduki bangku perkuliahan pada semester 2 hingga 9, penulis menjadi asisten Laboratorium Rekayasa Fotonika Jurusan Teknik Fisika ITS.